

STEVIN - LABORATORIUM  
van de afdeling der  
Weg- en Waterbouwkunde  
der  
TECHNISCHE HOGESCHOOL  
-O-O-O-O-

RAPPORT 6-69-6

Onderzoek van de verbinding langsligger-  
dwarsdrager voor een ontworpen stalen  
brug over de IJssel bij Deventer.

juni 1969

ir. W.A.J. Tromp

Stevinweg 4,  
Delft.

Tel.: 33222-7329

## Inhoud

### 1 Inleiding

### 2 Statisch Onderzoek

- 2.1. Inleiding
- 2.2. Belastingsschema's
- 2.3. Proefstukken
- 2.4. Proefopstelling en beproeving
- 2.5. Samenvatting en conclusies.

### 3 Dynamisch Onderzoek

- 3.1. Proefstukken en opstelling
- 3.2. Randvoorwaarden
- 3.3. Beproeving
- 3.4. Samenvatting en conclusies.

## 1 Inleiding

Bij stalen verkeersbruggen worden stalen rijvloeren in de vorm van een z.g. orthotrope plaat steeds meer toegepast daar hiermee een aanzienlijke gewichtsbesparing kan worden verkregen t.o.v. andere rijvloerconstructies. De verbinding tussen de langsverstijvingen en de dwarsdragers vormt echter een detail dat qua uitvoering en vermoeiingssterkte veel problemen oproept, in het bijzonder als de langsverstijvingen uit torsiestijve, kokervormige profielen bestaan.

De "Ontwerpgroep Brug Deventer" heeft bij haar ontwerp voor een verkeersbrug over de IJssel bij Deventer, voor dit detail een oplossing gevonden die eenvoudig te maken is en de mogelijkheid schept om het dek in grote secties in de werkplaats te vervaardigen. Daardoor kan de fabricage van de deksecties, bestaande uit een dekplaat met daarop gelaste langsverstijvingen, worden gemechaniseerd.

De montage van deze secties op de dwarsdragers is zeer eenvoudig en niet arbeidsintensief.

Omdat het gedrag van de aansluiting langsligger-dwarsdrager bij hoge statische belasting en bij een bepaalde vorm van dynamische belasting langs theoretische weg moeilijk kan worden benaderd, ontving het Stevin Laboratorium van de "Ontwerpgroep Brug Deventer" opdracht om dit detail langs experimentele weg nader te onderzoeken.

Figuur 1.1. toont het principe van bedoelde constructie, ontleend aan tekening: "Ontwerpgroep Brug Deventer - Brug o/d IJssel bij Deventer - Brugdeksecties - Blad nr. 12".

Bij belasting van het brugdek, brengt het oplegschot een oplegreactie over, dit kan worden opgevat als een geconcentreerde belasting tegen de onderzijde van de koker, die in principe uitplooien van de kokerwand tot gevolg kan hebben. De grootte van de kracht waarbij dit optreedt is langs theoretische weg moeilijk te benaderen. Daarom werd gevraagd een onderzoek in te stellen naar de oplegkracht die deze verbinding kan overbrengen. Dit gedeelte van het onderzoek wordt behandeld in hoofdstuk 2.

De constructie van figuur 1.1. moet als een elastische verbinding tussen de dekplaat en de dwarsdrager in de richting van de dwarsdrager worden beschouwd. Aan de einden van een dwarsdrager zijn echter stijve verbindingen aangebracht zie figuur 1.2.a. Ten gevolge van een verticale

belasting ondergaat de bovenflens van een dwarsdrager een horizontale stuik, afhankelijk van de momentenlijn van de dwarsdrager zie figuur 1.2.b. Door de verbindingen tussen de dwarsdrager en dekplaat, treedt ook stuik op in de dekplaat boven de dwarsdrager, maar deze stuik verloopt anders dan in de dwarsdrager zie fig. 1.2.b.

Daardoor ontstaat een horizontale verschuiving van de dekplaat t.o.v. de bovenflens van de dwarsdrager, zie fig. 1.2.c., waardoor de koker ter plaatse vervormt zie figuur 1.2.d.

Door de verkeersbelasting hebben deze vervormingen een dynamisch karakter met de mogelijkheid van vermoeiingsverschijnselen vooral bij de punten A en B. Daarom werd gevraagd een onderzoek in te stellen naar de vermoeiingssterkte van dit onderdeel bij de in figuur 1.2.d. geschetste vervorming.

Dit gedeelte van het onderzoek wordt behandeld in hoofdstuk 3.



## 2 Statisch onderzoek

### 2.1 Inleiding

De te onderzoeken verbinding langsligger-dwarsdrager maakt deel uit van de statisch veelvoudig onbepaalde dekconstructie. De krachten en vervormingen zijn daardoor afhankelijk van de belastingen en het gedrag van het gehele dek .

Een onderzoek aan een complete dekconstructie kwam gezien de financiële en andere consequentie niet in aanmerking, daarom werd besloten het onderzoek uit te voeren aan detailproefstukken. Indien echter de verbinding uit het gehele dek wordt gelicht, moeten in principe de randvoorwaarden volgens fig. 2.1. worden aangebracht om de werkelijkheid te benaderen. De berekening en de realisering van deze randvoorwaarden in de proefopstelling is echter geen eenvoudige zaak, daarom zal in paragraaf 2 eerst worden nagegaan hoe dit op een acceptabele manier kan worden vereenvoudigd. Voor plooien van het oplegschot behoeft gezien de afmetingen niet te worden gevreesd, daarom wordt de aandacht geconcentreerd op plooien van de kokerwand boven het oplegschot.

### 2.2. Belastingschema's

Het dek vormt de bovenflens van de hoofdliggers van de brug, zodat drukspanningen in het dek ontstaan daar waar positieve veldmomenten in het hoofdliggersysteem optreden, dus in een groot gedeelte van de brug. Dit wordt voorgesteld door de axiale krachten  $N_1$  en  $N_2$  in figuur 2.1. Deze krachten vergroten het plooi-gevaar in de kokerwanden. Zodra echter enige plooi in de kokerwanden boven het schot ontstaat, zal de geplooiide zone in axiale richting slapper worden dan de ongeplooiide delen van koker en dekplaat, waardoor de axiale drukspanningen om deze slappe zone heenlopen en daardoor op verdere plooi weinig invloed uitoefenen. Indien de krachten  $N_1$  en  $N_2$  trekkrachten zijn, verkleinen zij het plooi-gevaar.

Daarom wordt het verantwoord geacht de krachten  $N_1$  en  $N_2$  bij de beproeving weg te laten.

Een a-symmetrische belasting t.o.v. het schot, zoals o.a. veroorzaakt kan worden door  $P_v$ ,  $M_5$  t/m  $M_8$ ,  $D_1$  en  $D_2$  zal nauwelijks invloed hebben op het plooi-gevaar van de kokerwanden, daarom wordt de belasting symmetrisch t.o.v. het schot gedacht.

Indien de krachten  $D_1$  t/m  $D_4$  en  $M_1$  t/m  $M_3$  worden vervangen door een vervangende belasting op de dekplaat, zal de kokerbodem minder werkzaam zijn dan in werkelijkheid, zodat de kokerwanden zwaarder worden belast dan in werkelijkheid. Gezien de vereenvoudiging van de beproeving die hierdoor ontstaat, werd daarom besloten in de proefstukken een equivalente dekbelasting aan te brengen die een samenvoeging is van een directe verkeersbelasting en een vervangende dekbelasting.

De ontwerpgroep heeft berekend dat de maximale oplegreactie ca. 16tf bedraagt, dus moet op het proefstuk een equivalente dekbelasting van 16tf worden aangebracht. Een standaard VOSB belasting bestaat uit bandprenten met een breedte van 25 cm. Daarom is de breedte van de equivalente belasting ook op 25 cm vastgelegd. Met de vlaktedruk van de VOSB belasting als basis wordt de belastinglengte dan 80 cm. Door de drukspreiding t.g.v. een aangenomen 5 cm dikke slijtlaag, wordt de belastingbreedte op de dekplaat dan 35 cm. De lengte van de drukplaten van de drukbank bedraagt 80 cm en begrenst daardoor de belastinglengte tot 80 cm.

De directe verkeersbelasting heeft op het plooigebaar van de kokerwanden het meeste effect als ze boven een kokerwand wordt geplaatst, welke situatie mogelijk is. De vervangende verkeersbelasting moet echter meer nabij de hartlijn van de koker worden gesitueerd. Daarom wordt als ongunstigste situatie aangenomen dat de hartlijn van de equivalente dekbelasting halverwege de kokerwand en de hartlijn van de koker ligt. Figuur 2.2.a geeft het belastingschema dat resulteert uit de voorgaande overwegingen.

Bij beproeving van het eerste proefstuk volgens dit belastingschema bleek dat een horizontale vervorming optreedt ten gevolge van de excentrische belasting. Om dit te beperken is het nodig horizontale krachten  $N_3$  en  $R_3$  aan te brengen. Zo ontstaat het belastingschema van figuur 2.2.b.

De horizontale vervorming (zie figuur 1.2.d) samenhangend met de krachten  $N_3$ ,  $N_4$ ,  $H_1$  en  $H_2$  van figuur 2.1, kan optreden tegelijk met een verticale belasting en vergroot het plooigebaar. Daarom moet ook deze toestand worden onderzocht. De Ontwerpgroep heeft berekend dat deze horizontale verschuiving maximaal 3 mm kan bedragen. Dit resulteert in het belastingschema van figuur 2.2.c.



Omdat behalve de informatie of de ontworpen constructie de berekende belastingen kan overbrengen ook de dan aanwezige reserve van belang is, werd besloten om de belasting tot bezwijken op te voeren.

### 2.3. Proefstukken

Het beproeven van slechts één proefstuk moet op statistische gronden worden afgewezen. Daarom werd besloten de proef zonder horizontale verplaatsing drie maal uit te voeren.

De proef met een horizontale verplaatsing kan het eenvoudigst worden uitgevoerd door twee proefstukken tegelijk te beproeven. Daarom werden hiervoor 4 proefstukken bestemd, zodat in totaal zeven proefstukken nodig waren. Deze werden vervaardigd door Werkspoor - Utrecht N.V. naar figuur 2.3, ontleend aan tekening "Ontwerpgroep Brug Deventer - Brug o/d IJssel bij Deventer - Brugdek secties - Blad nr. 12"

De breedte werd begrensd door de afmetingen van de drukbank, de lengte werd bepaald op 1m omdat dit voldoende is om het kritieke gebied te omsluiten.

### 2.4. Proefopstelling en beproeving

De beproeving werd uitgevoerd in een hydraulische drukbank waarvan de uitgeoefende kracht op een pendel manometer kan worden afgelezen. Figuur 2.4. geeft schematisch de opstelling bij de diverse proefstukken. De equivalente dekbelasting werd aangebracht via een laag rubberstrips dik 25 mm, breed 35 mm en lang 800 mm met een onderlinge tussenruimte van 17,5 mm. Hiermee werd bereikt dat de belasting gelijkmatig over de oppervlakte werd verdeeld en dat buiging van de dekplaat niet werd verhinderd. Bij het opvoeren van de belasting tot ver over de berekende 16tf. werd de vervorming van de rubberstrips echter zo groot dat het voornoemde effect enigszins verloren ging.

Proefstuk 1 werd in de drukband opgesteld volgens figuur 2.4.a. om te worden beproefd met het belastingschema van figuur 2.2.a. Om beproevings-technische redenen werd het proefstuk ondersteboven geplaatst. Bij belasting vervormde het proefstuk zeer sterk, resulterend in een draaiing van het stijve gedeelte boven de lijn A-B om de centreerstrip en daardoor in een horizontale uitbuiging van de kokerwanden. Daarbij ontstond bij punt A een naar buiten gerichte buil in de kokerwand, die nabelasting tot 18tf.

en weer ontlasten niet meer zichtbaar was. Bij hernieuwde belasting kwam de buil bij A weer terug, bij verdere belasting werden de vervormingen steeds groter, tenslotte scheurde de last bij B open en bij ca. 31 tf. werden de vervormingen zo groot dat de belasting niet verder kon worden opgevoerd. Foto 1 toont het proefstuk na de beproeving.

Zou het proefstuk deel uitmaken van een compleet brugdek, dan zouden de grote vervormingen door de aansluitende delen zeker worden verhinderd. De randvoorwaarden van het proefstuk waren dus te ongunstig. Desondanks kon de berekende maximale belasting van 16 tf ruimschoots worden overgebracht.

Bij proefstuk 2 werd de opstelling volgens figuur 2.4.b. gebruikt, met het belastingschema van figuur 2.2.b., waardoor de randvoorwaarden beter in overeenstemming waren met de werkelijkheid. Aan de bovenzijde was enige draaiïng mogelijk om het scharnier van de bovenplaat, een aanslag verhinderde horizontale verplaatsing van de dekplaat van het proefstuk. Bij belasting ontstonden de grootste vervormingen weer bij punt A, na belasten tot 20 tf en ontlasten was geen blijvende vervorming zichtbaar. Eerst bij een drukkracht van 67,5 tf werden de vervormingen zo groot dat de belasting niet verder kon worden opgevoerd. Foto 2 toont het proefstuk na de beproeving, foto 3 geeft een beeld van de vervorming en de daarmee gepaard gaande vloegebieden. Duidelijk blijkt dat, vergeleken met proefstuk 1, de builvorming anders is en dat de vervorming van het proefstuk als geheel veel minder is. Dit verklaart de hogere bezwijklast.

Proefstuk 7 werd op dezelfde wijze beproefd als proefstuk 2 en vertoonde hetzelfde gedrag. De bezwijklast was hier ca. 63,5 tf.

De combinatie van een verticale drukkracht met een horizontale verschuiving, belastingschema figuur 2.2.c, werd beproefd in een opstelling volgens figuur 2.4.c. De horizontale verplaatsing werd aangebracht door middel van een hulpconstructie en gecontroleerd met enkele meethorloges, zie foto 4.

Ter oriëntatie werd eerst een proef uitgevoerd met de rubberlaag in positie 1 (figuur 2.4.c) en een horizontale verplaatsing van 3 mm. Door de, weliswaar geringe, asymmetrie van het proefstuk door de voorvervorming van 3 mm, werd de horizontale vervorming bij het opvoeren van de verticale belasting groter. Bij een drukkracht van 50 tf, bedroeg deze 4 mm. In verband met de grote doorbuiging van de beide middenplaten (dekplaten) en de sterke



vervorming van de rubberstrips, werd de belasting niet verder opgevoerd. Na ontlasting werd geen blijvende vervorming van de kokerwanden geconstateerd.

Vervolgens werd de rubberlaag verschoven naar positie 2 (fig. 2.4.c), en een horizontale verschuiving van 3 mm aangebracht. Bij het belasten werd de horizontale vervorming nu, behalve door de asymmetrie van het proefstuk t.g.v. de voorvervorming, ook nog vergroot door de excentriciteit van de belasting. Bij een drukkracht van 30 tf, bedroeg de horizontale vervorming al ca. 1 cm, het bovenste proefstuk vertoonde een beginnende uitbuiing bij punt A en het bovenste gedeelte was enigszins gedraaid. De hulpconstructie was niet geschikt om de horizontale vervorming tot 3 mm te beperken, daardoor ontstonden grotere verschuivingen dan in werkelijkheid mogelijk zijn, dus een te ongunstige situatie. Daarom werd de belasting niet verder opgevoerd dan tot 30 tf. Na ontlasten werd al enige blijvende vervorming geconstateerd.

Tenslotte werd de rubberlaag verschoven naar positie 3 (fig. 2.4.c), zodat nu de verplaatsingsrichting t.g.v. de excentrische belasting tegengesteld was aan de voorverplaatsing van 3 mm. De grote horizontale krachten die nodig bleken te zijn om het proefstuk in horizontale richting te fixeren, bij het verticaal belasten kon de hulpconstructie niet opbrengen en gaf daardoor te veel mee. Bij 40 tf drukkracht was de horizontale verplaatsing nog ca. 2 mm, bij 50 tf werden de vervormingen vooral van het bovenste proefstuk zo groot dat verder opvoeren van de belasting geen zin had.

Hierbij moet worden opgemerkt dat, door de maat- en vormafwijkingen van de proefstukken, de opstelling vanaf het begin al enigszins scheef was, na de tweede proef was de scheefheid merkbaar groter. Dit gevoegd bij de geringe draaiingsmogelijkheid van de bovenste drukplaat, heeft tot gevolg dat de proef onder ongunstiger omstandigheden verliep dan wenselijk was.

Nadat een stijvere hulpconstructie was vervaardigd, werd met proefstuk 5/6, de proef herhaald. Met de rubberlaag in positie 2 en een horizontale verplaatsing (zie fig. 2.4.c) werd de verticale belasting aangebracht, zie foto 5. Ook de nieuwe hulpconstructie was niet zo stijf dat de horizontale verplaatsingen geheel beheerst konden worden. Bij een belasting van 50 tf bedroeg de horizontale verplaatsing ca. 3 mm en werd een duidelijke buil zichtbaar in de onderste koker bij punt A, qua vorm vergelijkbaar met die van de proefstukken 2 en 7. Bij een belasting van 65 tf was de horizontale verplaatsing toegenomen tot ca. 4 mm en werd de vervorming van beide kokers

zo groot dat verder opvoeren van de belasting geen zin had.

## 2.5. Samenvatting en Conclusies

De resultaten van het onderzoek zijn samengesteld in de volgende tabel.

| Proefstuk | Bezwijklast | Bijzonderheden  |
|-----------|-------------|---|
| 1         | 31 tf       | } grote vervormingsmogelijkheid<br>zonder horizontale<br>verplaatsingsmogelijkheid<br>na vervorming door voorafgaande proef<br>horizontale verplaatsing van 4 mm. |
| 2         | 67,5 tf     |   |
| 7         | 63,5 tf     |   |
| 3/4       | 50 tf       |   |
| 5/6       | 65 tf       |   |

Er kon geen scherp bezwijkcriterium worden gehanteerd, bij de beproeving, daarom mag geen betekenis worden gehecht aan het verschil tussen de resultaten van proefstukken 2, 7 en 5/6. In de vorige paragraaf is duidelijk gemaakt de beproeving van proefstuk 3/4 onder te ongunstige omstandigheden is verlopen, zodat 50 tf een te lage waarde is.

De conclusie van het onderzoek luidt daarom:

- Een kleine horizontale verschuiving ca. 3 mm van de dekplaat t.o.v. de dwarsdrager heeft geen invloed op de sterkte van de onderzochte verbinding.
- De bezwijklast van de verbinding langsligger-dwarsdrager is ca. 60 tf, bij ca. 30 tf begint een blijvende vervorming te ontstaan.

## 3. Dynamisch onderzoek

### 3.1. Proefstukken en Opstelling

Ook hier kwam de beproeving van een complete dekconstructie niet in aanmerking en werd besloten de beproeving uit te voeren aan detailproefstukken.

Uit de analyse van fig. 1.2 blijkt dat in het gebied met de grootste vervormingen, de verschuiving van de dekplaat t.o.v. de dwarsligger steeds van de brugaf is afgekeerd. In een gebied nabij de brugaf kan de verschuiving in twee richtingen optreden, maar de verschuiving is daar klein. Daarom zal de laatste situatie niet maatgevend zijn en omdat de beschikbare beproevingsinstallatie alleen met gecompliceerde hulpconstructies een wisselverplaatsing kan realiseren, werd besloten om in één richting te



belasten. Beproevingstechnisch is een verticale verplaatsingsrichting het eenvoudigst, hieraan wordt voldaan door het proefstuk op zijn kant te plaatsen. De inklemming van het oplegschot in de dwarsdrager kan in een proefopstelling het eenvoudigst worden nagebootst door een dubbel proefstuk te gebruiken, wat bovendien nog het voordeel heeft dat twee proefstukken in één keer worden beproefd.

Op grond van voornoemde overwegingen en gebaseerd op tekening: "Ontwerpgroep Brug Deventer - Brug o.d. IJssel bij Deventer - Brugdek sectiesblad nr. 12" werd een proefstuk ontworpen volgens fig. 3.1. Gezien de spreiding in de resultaten van vermoeiingsproeven kon ook hier niet met één proefstuk worden voldaan, daarom werd besloten drie dubbele proefstukken te beproeven, deze werden vervaardigd door Werkspoor - Utrecht N.V.

Foto 6 toont de proefopstelling. Het proefstuk was geplaatst in oplegstoelen die op de onderregel van een frame waren bevestigd. Aan de bovenregel van het frame was een hydraulische vijzel bevestigd die naar beneden gerichte krachten kan uitoefenen op het proefstuk via een op het proefstuk geplaatste drukdoos. (vijzel en frame op de foto niet zichtbaar). Door middel van deze elektrische drukdoos kon de kracht worden gemeten. Aan de onderzijde van het proefstuk was een elektrische verplaatsingsmeter opgesteld waarmee de verticale verplaatsingen van de middenplaat van het proefstuk t.o.v. de opleggingen werd gemeten. De vijzel was aangesloten op een pulsator.

De opstelling en de beproevingsinstallatie zijn niet geschikt om een verplaatsing van 0 tot een zekere waarde te realiseren de ondergrens is aan een bepaalde drempelwaarde gebonden. In dit geval was bedroeg deze drempelwaarde 0,3 mm, om dit te compenseren werd ook de bovengrens verhoogd. Zo werd b.v. in plaats van te wisselen tussen 0 en 1 mm gewisseld tussen 0,3 en 1,2 mm.

### 3.2. Randvoorwaarden

Aan de randen van het proefstuk moet een groot aantal randvoorwaarden worden aangebracht om de oplegconstructie in de complete dekconstructie na te bootsen. Dit is in de proefopstelling niet gebeurd, daarom rijst de vraag of het onderzoek representatief geacht mag worden voor het gedrag van de werkelijke constructie. Hieraan is deze paragraaf gewijd.

De plaats en het verloop van de vermoeiingsscheurtjes tonen aan, dat de buigspanningen ter plaatse de belangrijkste oorzaak van de scheurvorming zijn.

Uit fig. 3.2.1 blijkt, dat de buigingsvorm, daarmee de krommingen en daarmee de buigspanningen worden bepaald door  $h$ ,  $\phi_1$  en  $\phi_2$ . Verder blijkt dat een kleinere  $\phi_1$  en  $\phi_2$  (stijvere inklemming) de momenten in A, B, C, en D vergroten, echter in A en C in mindere mate dan in B en D.  $\phi_1$  en  $\phi_2$  worden enerzijds bepaald door  $h$ , anderzijds door vervormingen van de dekplaat (eventueel veroorzaakt door verkeersbelastingen) en door de stijfheid van de lassen tussen koker en dekplaat.

We stellen nu dat de invloed van de vervormingen van de dekplaat gering is, zodat  $\phi_1$  en  $\phi_2$  grotendeels worden bepaald door de stijfheid van de lassen en door  $h$ . Dit zou betekenen dat de buigspanningen bij A en C nagenoeg niet beïnvloed worden door de vervormingen van de dekplaat, en derhalve in de proefstukken buigspanningen in A en C ontstaan die nagenoeg overeenkomen met de in de werkelijke constructie optredende spanningen bij gelijke verplaatsingen  $h$ .

Om deze stelling te verifiëren zijn een aantal proeven uitgevoerd. Op een proefstuk worden rekstrookjes aangebracht in de punten A, B, C en D, waardoor de spanningen ter plaatse konden worden gemeten.

Het proefstuk werd eerst belast in de situatie van fig. 3.2.2.a. Beweging van de zijplaten over de oplegstoelen werd alleen beperkt door wrijving. Bij enkele waarden van de verschuiving  $h$ , werden de spanningen en de benodigde kracht  $P$  gemeten.

Vervolgens werd de onderkant van de zijplaten gefixeerd tegen strips die op de oplegstoelen werden bevestigd zie fig. 3.2.2.b. Daardoor was de vervormingsmogelijkheid van de zijplaten geringer dan in het vorige geval. Ook in deze situatie werden enkele metingen uitgevoerd.

Tenslotte werden de bovenranden van het proefstuk op elkaar afgestempeld zie fig. 3.2.2.c. Daardoor werd de vervormingsmogelijkheid van de zijplaten ook aan de bovenzijde beperkt. Ook in deze toestand werden enkele metingen verricht.

De belangrijkste resultaten van deze proeven zijn samengevat in de volgende tabel:

|              |   | $\sigma_{\text{buig A}} \text{ kgf/cm}^2$ |        | $\sigma_{\text{buig B}} \text{ kgf/cm}^2$ |        | P kgf |        |
|--------------|---|---|--------|---|--------|-------|--------|
| volgens fig. | h | 1 mm                                      | 1,5 mm | 1 mm                                      | 1,5 mm | 1 mm  | 1,5 mm |
| 3.2.2.       | a | 720                                       | 1095   | 380                                       | 570    | 560   | 845    |
| 3.2.2.       | b | 735                                       | 1120   | 400                                       | 635    | 590   | 925    |
| 3.2.2.       | c | 715                                       | 1080   | 340                                       | 580    | 1285  | 2010   |



Hieruit blijkt inderdaad dat  $\sigma_{\text{buig A}}$  nagenoeg geheel van de verschuiving  $h$  afhangt en dat de randvoorwaarden (vervormingen van de dekplaat) nauwelijks invloed hebben. In een iets mindere mate geldt dit voor  $\sigma_{\text{buig B}}$ . De benodigde kracht  $P$  is echter sterk afhankelijk van de randvoorwaarden. De uitgangstelling is dus juist.

Uit de in fig. 3.2.1. geschetste buigingsvorm van de dekplaat, blijkt dat ongeveer halverwege twee kokers geen verticale beweging optreedt en dat het buigend moment daar nul is. Dit wordt het beste nagebootst door de gefixeerde oplegging van tekening 3.2.2. b. Daarom is deze oplegging bij de dynamische proeven toegepast. Uit de tabel blijkt dat dit voor  $\sigma_{\text{buig B}}$  de hoogste waarden geeft, zodat mag worden aangenomen dat de proeven ook voor punt B niet een te gunstig beeld geven.

### 3.3. Beproeving

Proefstuk nr. 1 werd met een verschuiving  $h$  van 0,3 naar 1,2 mm wisselend met een frequentie van ca. 6 Herz. Na 2.080.000 wisselingen werd geen beschadiging geconstateerd. Daarna werd de bovengrens van de verplaatsing verhoogd tot 1,7 mm, zodat nu werd gewisseld van 0,3 naar 1,7 mm. Na 445.000 wisselingen werd een scheurtje geconstateerd bij punt A aan de voet van de las in een van de kokers. Het symmetrische punt A van de andere koker vertoonde nog geen scheur. Na 1.760.000 wisselingen bleek ook in punt A van de tweede koker een scheurtje aanwezig te zijn. Na 4.000.000 wisselingen werd de beproeving beëindigd. De geconstateerde scheurtjes waren langer geworden, maar niet zo diep dat ze aan de binnenzijde van de kokers zichtbaar waren. Scheurvorming op andere plaatsen kan niet worden vastgesteld. Foto 7 toont het scheurtje na beëindiging van de beproeving.

Proefstuk 2 werd op dezelfde wijze beproefd als proefstuk 1. Na 2.017.000 wisselingen van 0,3 naar 1,2 mm werd geen beschadiging vastgesteld. Vervolgens werd de bovengrens van de verplaatsing vergroot tot 1,7 mm. Na 1.180.000 wisselingen van 0,3 naar 1,7 mm werd een scheurtje zichtbaar bij punt A in een van de kokers en bij hetzelfde punt A op de overgang van de las en de kop van het oplegschot (zie foto 9, genomen na afloop van de beproeving). Na 3.005.000 wisselingen werd een scheur in de las bij B geconstateerd over de volle dikte van de las, in dezelfde koker als de reeds aanwezige scheurtjes bij A. Daarna werd de bovengrens van de verschuiving opgevoerd tot 2 mm. Na 580.000 wisselingen van 0,3 naar 2 mm ontstond een scheurtje bij A in de tweede koker. Foto 8 geeft een beeld van dit scheurtje na afloop

van de beproeving. Na 7.000.000 wisselingen van 0,3 naar 2 mm werd de beproeving beëindigd. De scheuren waren allen langer geworden maar de scheuren bij A waren niet zo diep geworden dat ze de binnenzijde van de koker hadden bereikt. Op andere plaatsen werd geen scheurvorming vastgesteld.

Het derde proefstuk werd meteen beproefd bij een grotere verplaatsing en wel van 0,3 naar 3 mm met een frequentie van 5 Herz. Na ca. 200.000 wisselingen ontstond het eerste scheurtje bij punt A. Na 280.000 wisselingen vertoonde ook de tweede koker een scheurtje bij punt A. Na ca. 1.000.000 wisselingen was het eerste scheurtje zo diep geworden dat het aan de binnenzijde zichtbaar was. Na 1.450.000 wisselingen was ook het tweede scheurtje aan de binnenzijde zichtbaar. Na 1.500.000 wisselingen werd bij C een scheurtje zichtbaar aan de buitenzijde, waar een drukspanning heerst. Een door restspanningen ontstane wisselspanning zal hiervan waarschijnlijk de oorzaak zijn. Na 2.000.000 wisselingen werd de beproeving beëindigd. Op andere plaatsen werd geen scheurvorming vastgesteld.

Na beëindiging van het dynamische onderzoek werden de proefstukken nog nader onderzocht door ze op kritieke punten door te zagen. Daarbij bleek de scheurvorming bij punt A te verlopen zoals geschetst in fig. 3.3.1 a en 3.3.1 b. Verder bleek dat ook in de proefstukken 1 en 3 scheurvorming in de langslas bij B was begonnen, zie fig. 3.3.1 c, maar nog niet zo ver was doorgezet dat dit aan de buitenzijde zichtbaar was.

### 3.4. Samenvatting en conclusies

De resultaten van het dynamische onderzoek zijn samengevat in onderstaande tabel.

| proefstuk | wisselingen               |  | geconstateerde<br>scheurvorming  |
|-----------|---------------------------|--|--|
|           | amplitude<br>mm           | aantal                                 |  |
| 1         | 0,3 - 1,2                 | 0<br>2.080.000                         | geen   |
|           | 0,3 - 1,7                 | 0<br>445.000<br>1.760.000<br>4.019.000 | één koker punt A<br>andere koker punt A<br>einde proef, daarna: langslas punt B<br>niet door en door |
| 2         | 0,3 - 1,2                 | 0<br>2.017.000                         | geen   |
|           | 0,3 - 1,7                 | 0<br>1.180.000                         | één koker punt A, twee scheurtjes  |
|           |                           | 3.000.000                              | zelfde koker langslas punt B, door en door   |
| 0,3 - 2,0 | 0<br>580.000<br>7.100.000 | andere koker punt A<br>einde proef     |  |
| 3         | 0,3 - 3,0                 | 0<br>200.000                           | één koker punt A   |
|           |                           | 280.000                                | andere koker punt A  |
|           |                           | 1.000.000                              | eerste scheurtje door en door  |
|           |                           | 1.450.000                              | tweede scheurtje door en door  |
|           |                           | 1.500.000                              | derde scheurtje punt C   |
|           |                           | 2.040.000                              | einde proef, daarna: langslas<br>punt B, niet door en door   |

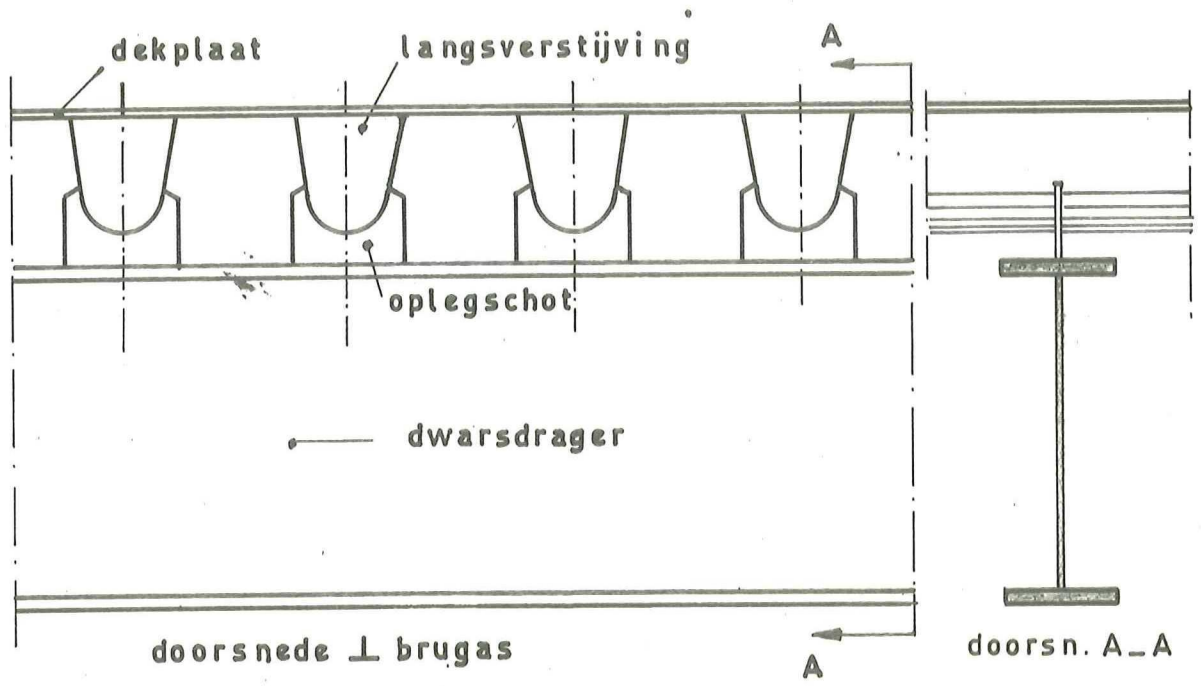
Uit het onderzoek blijkt, dat de onderzochte constructie 2.000.000 wisselingen van 0,3 naar 1,2 mm zonder scheurvorming kan doorstaan.

De eerste scheurvorming werd geconstateerd na 2.000.000 wisselingen van 0,3 naar 1,2 mm plus 445.000 wisselingen van 0,3 naar 1,7 mm.

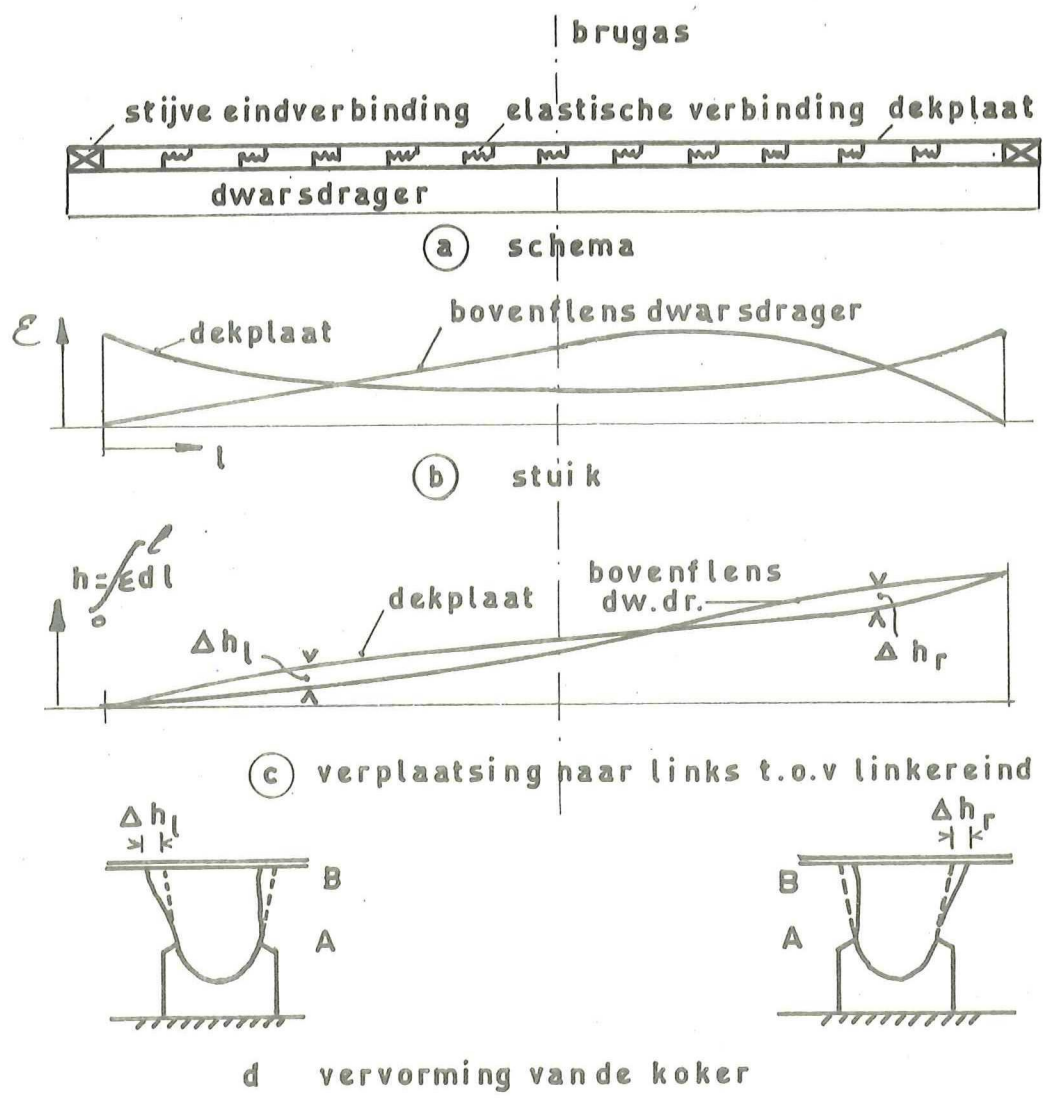
Bij wisselingen van 0,3 naar 3,0 mm ontstond de eerste scheur na 200.000 wisselingen.

De scheurgroei verloopt zeer langzaam en de scheuren zijn zodanig gesitueerd dat de draagkracht van het brugdek nauwelijks wordt aangetast.



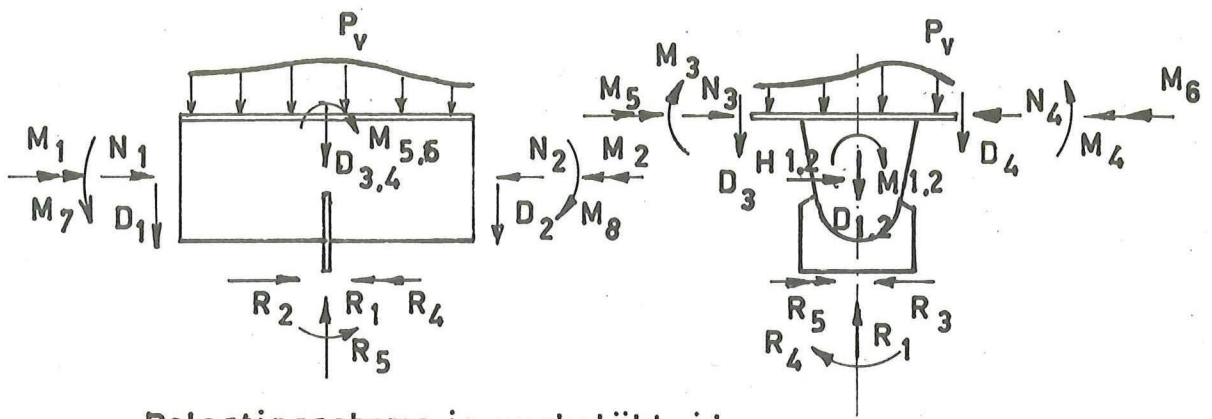


figuur 1.1



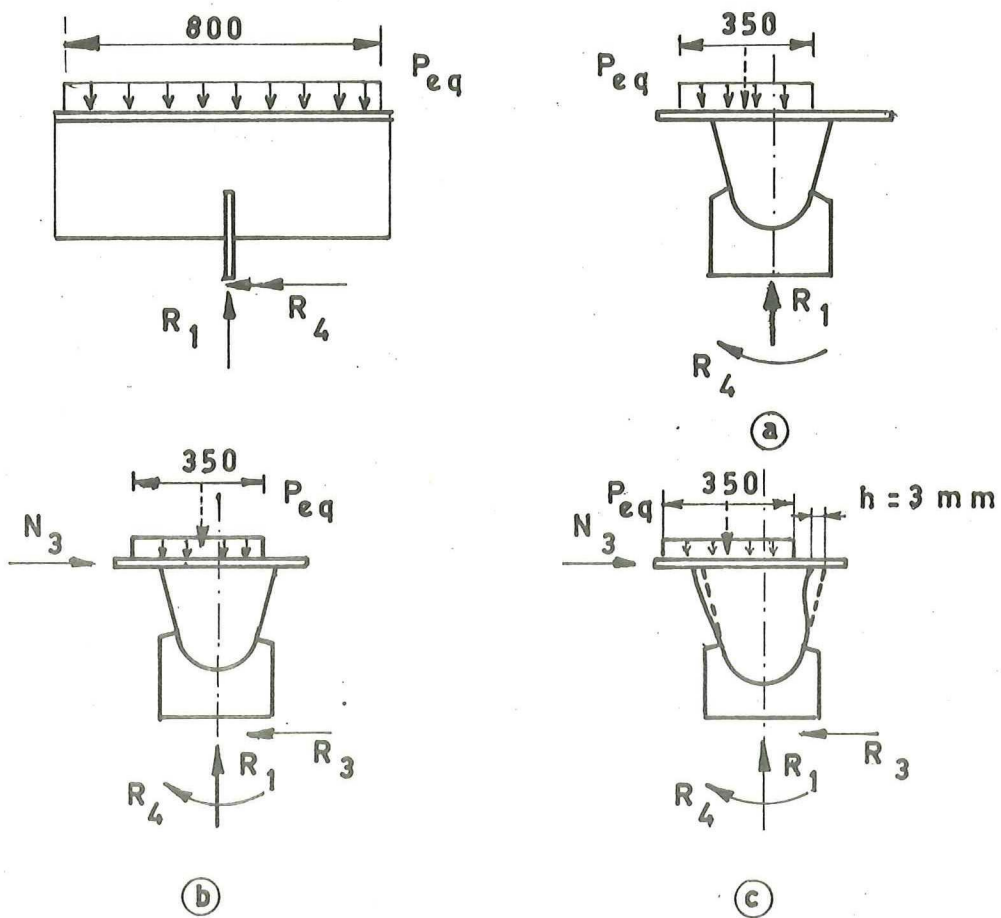
figuur 1.2





Belastingenschema in werkelijkheid

figuur 2.1



Belastingenschema's op proefstukken

figuur 2.2

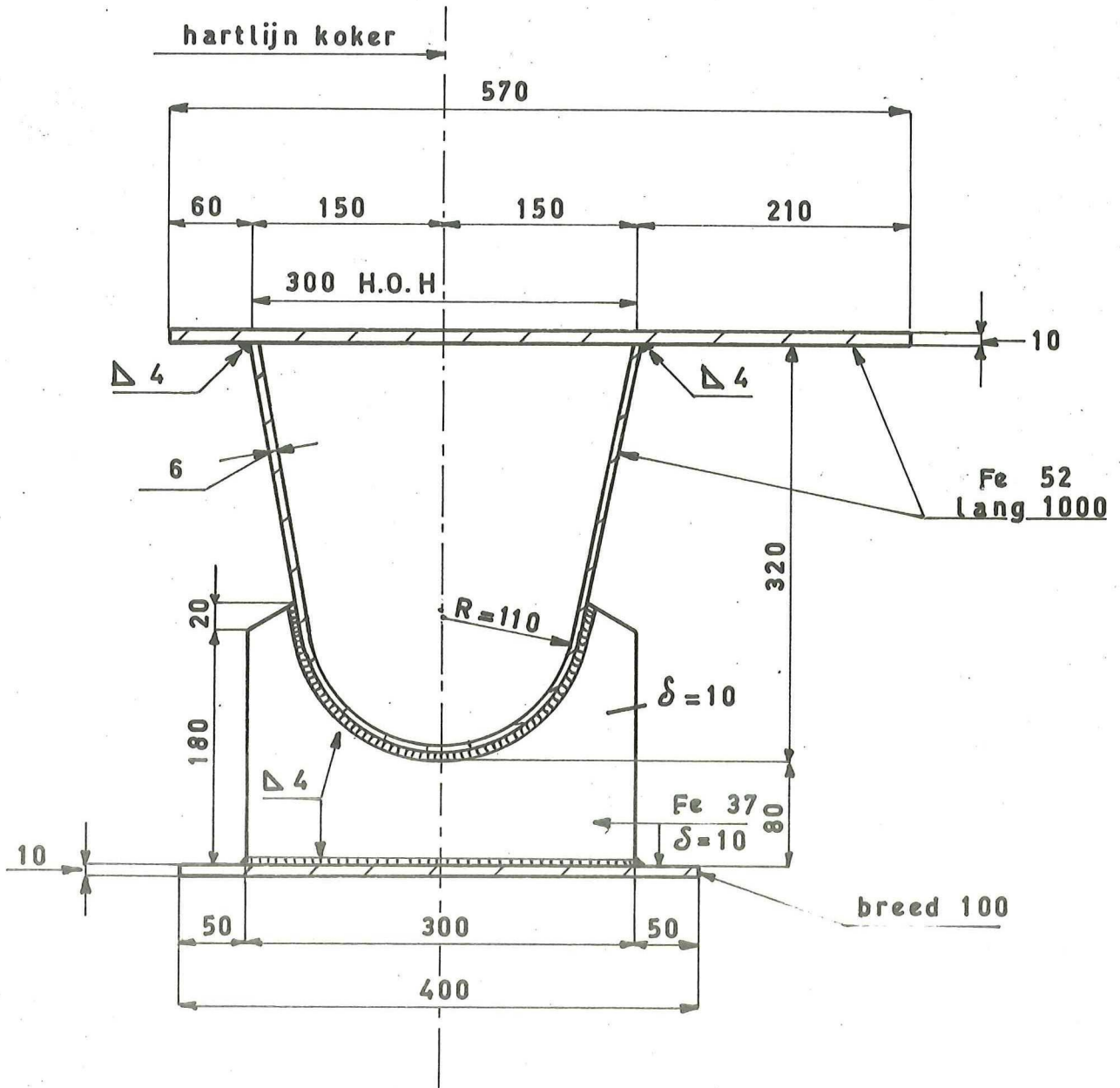


fig. 2.3

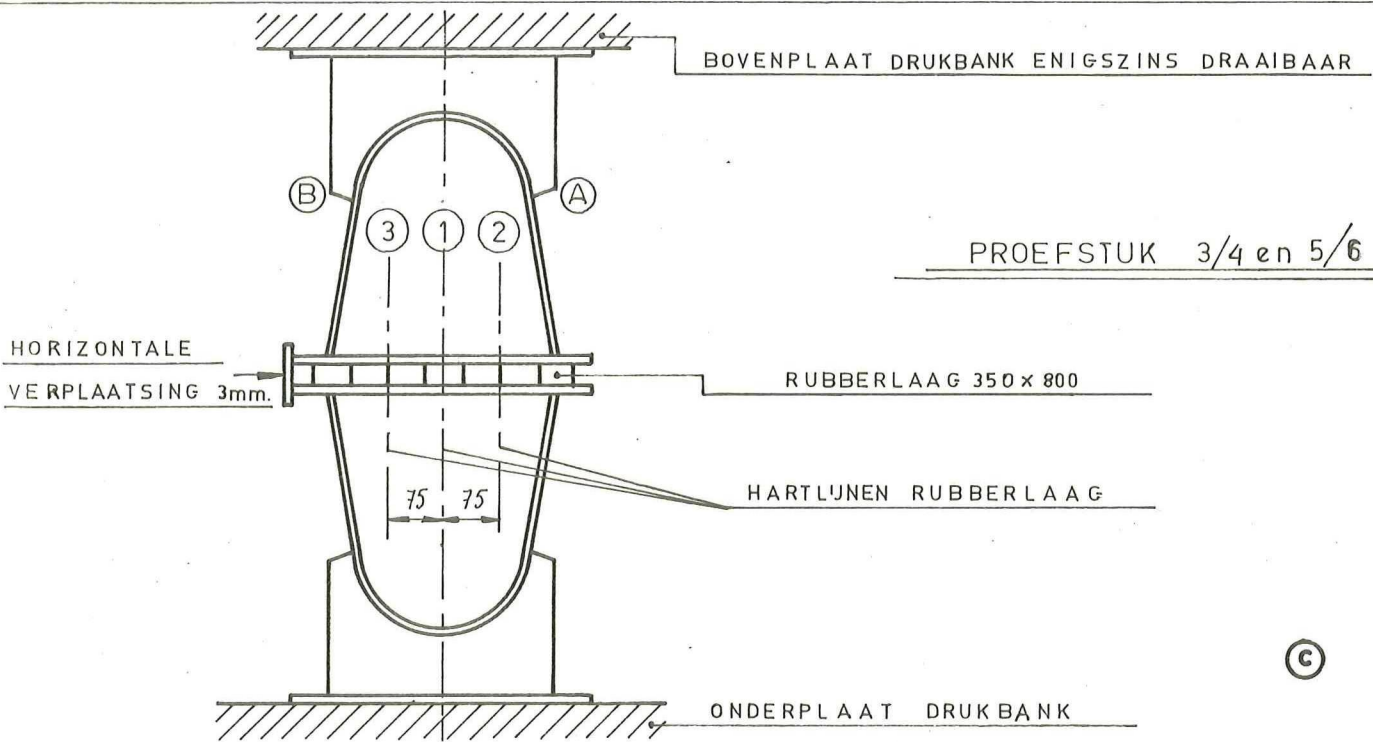
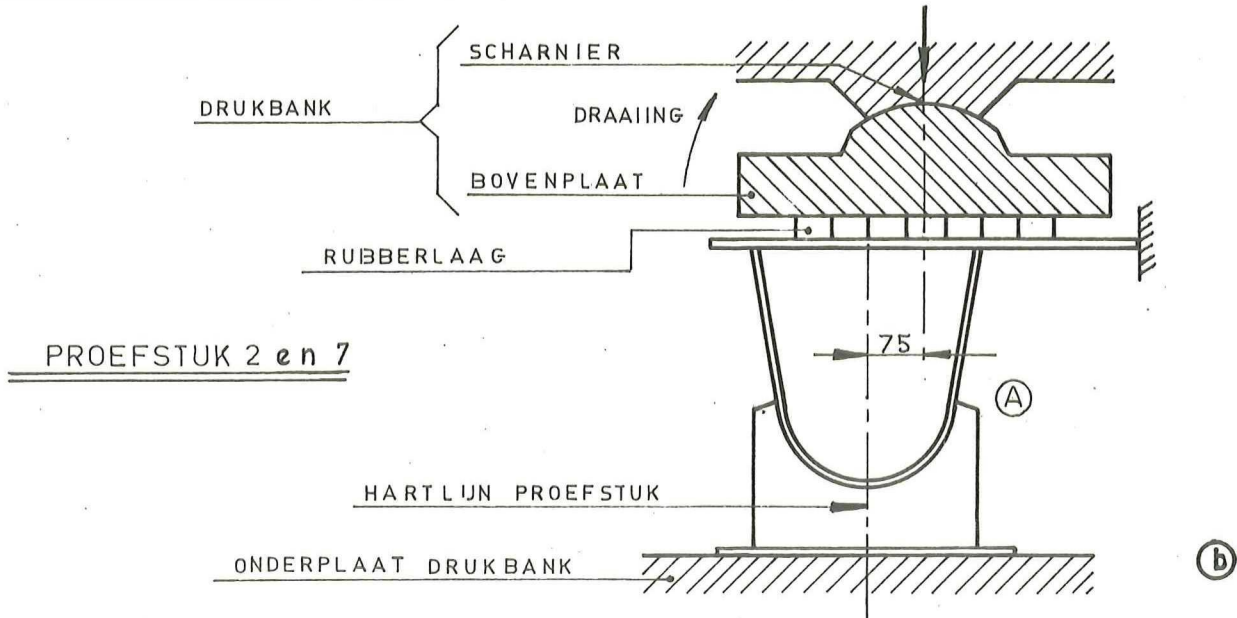
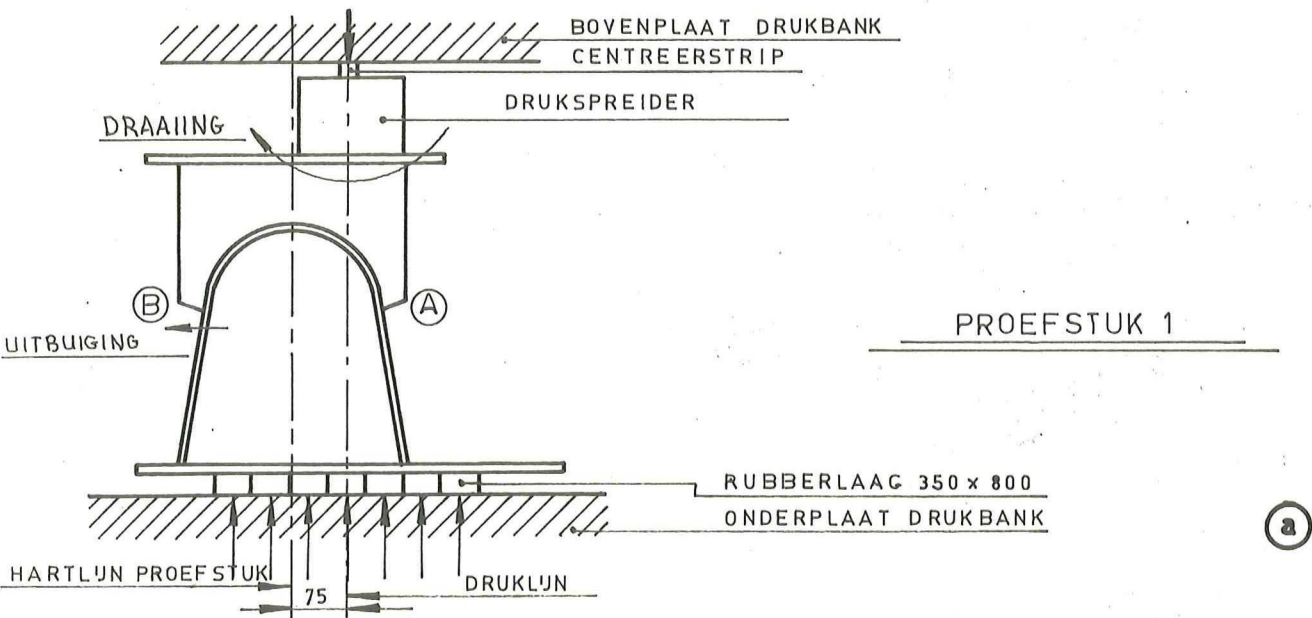


fig. 2.4

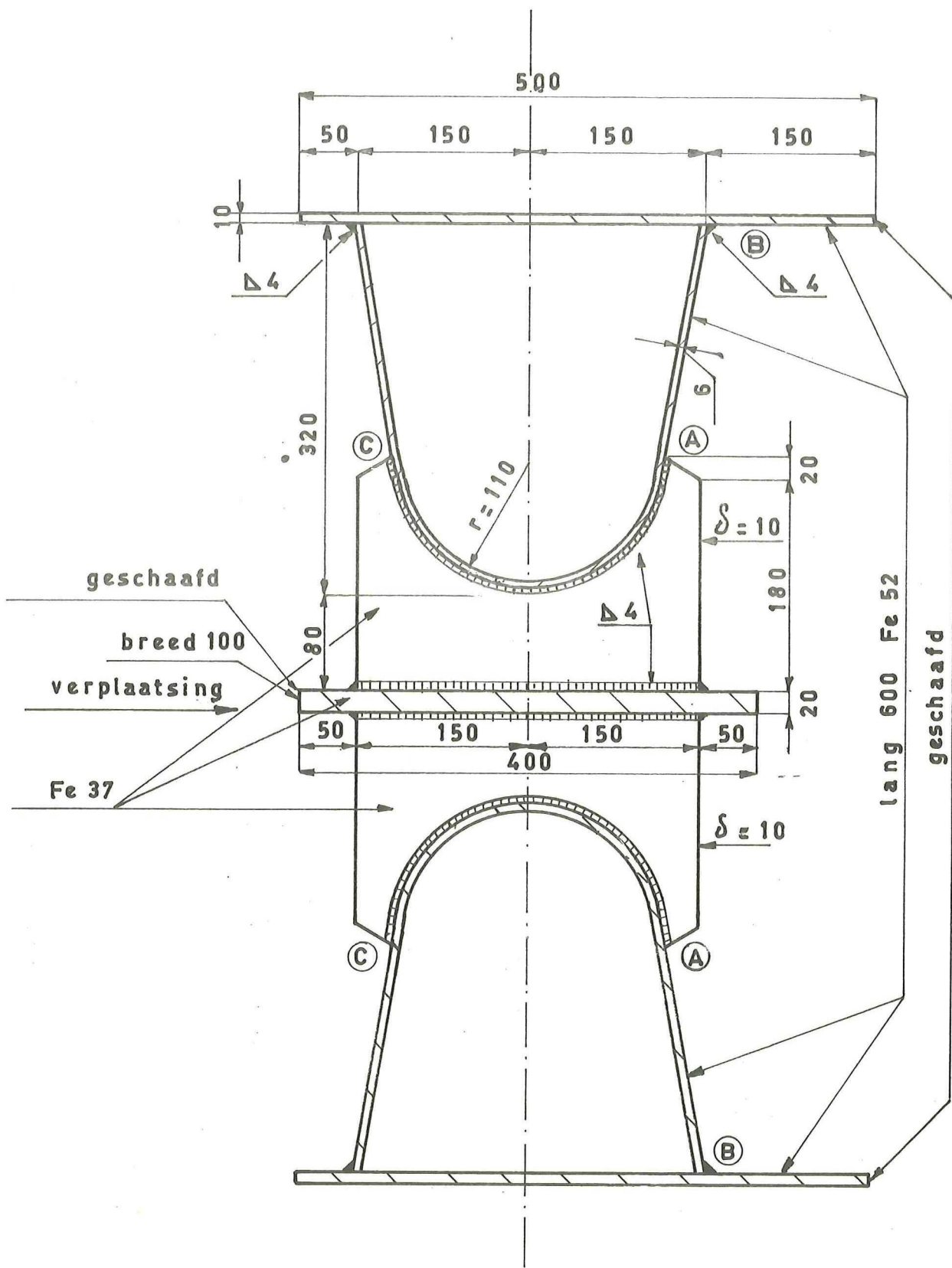
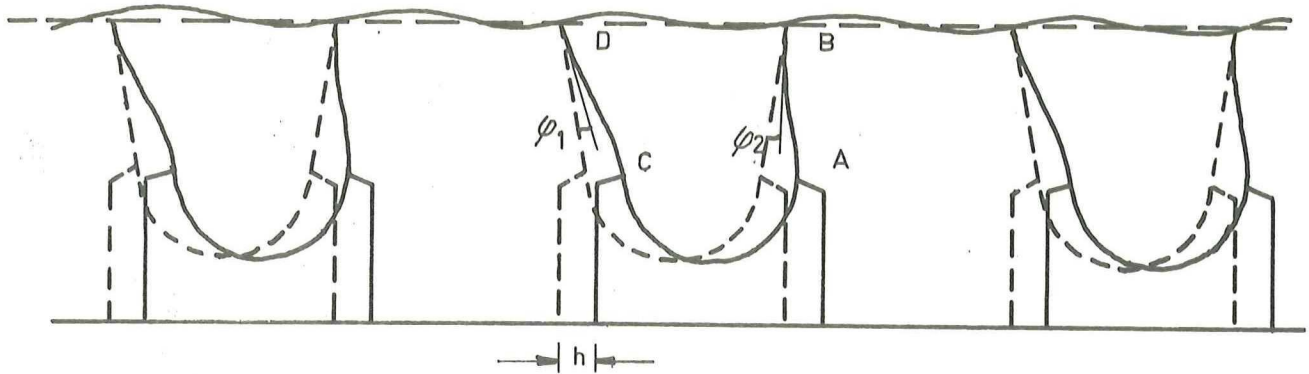
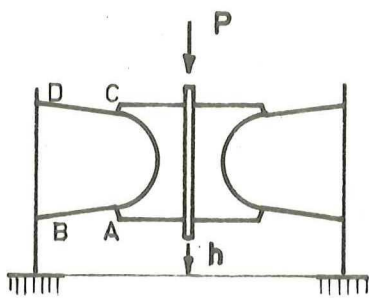


fig. 3.1



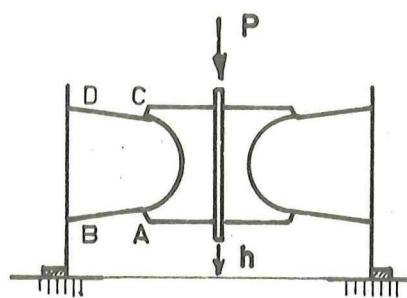
vervormingen bij verschuiving h

fig. 3.2.1



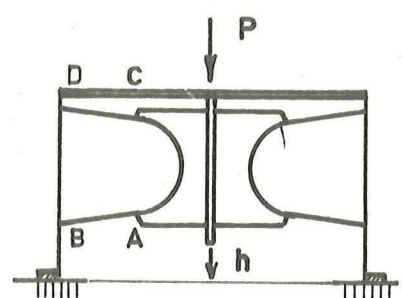
a

oplegging vrij



b

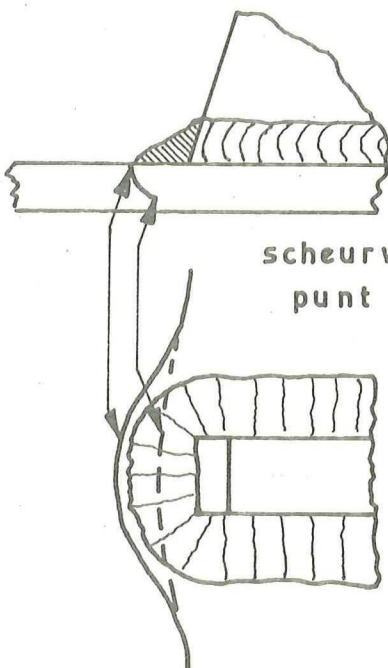
oplegging gefixeerd



c

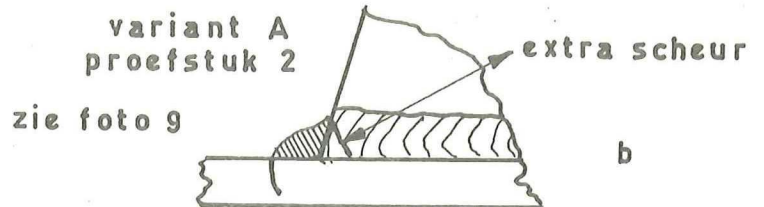
bovenzijde gefixeerd

fig. 3.2.2



scheurvorm  
punt A

a

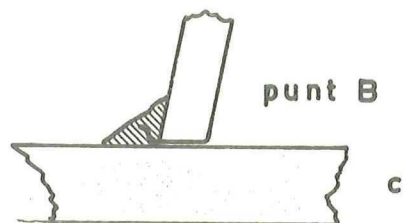


variant A  
proefstuk 2

zie foto 9

extra scheur

b



punt B

c

fig. 3.3.1



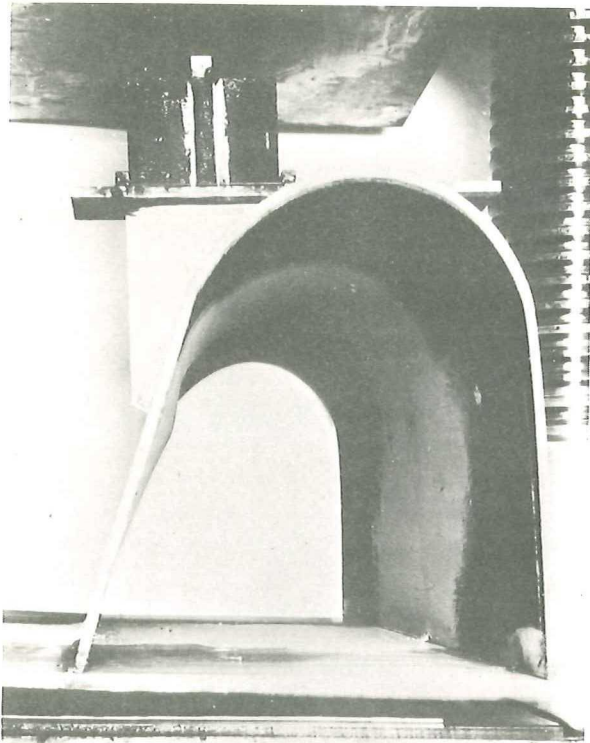


foto 1

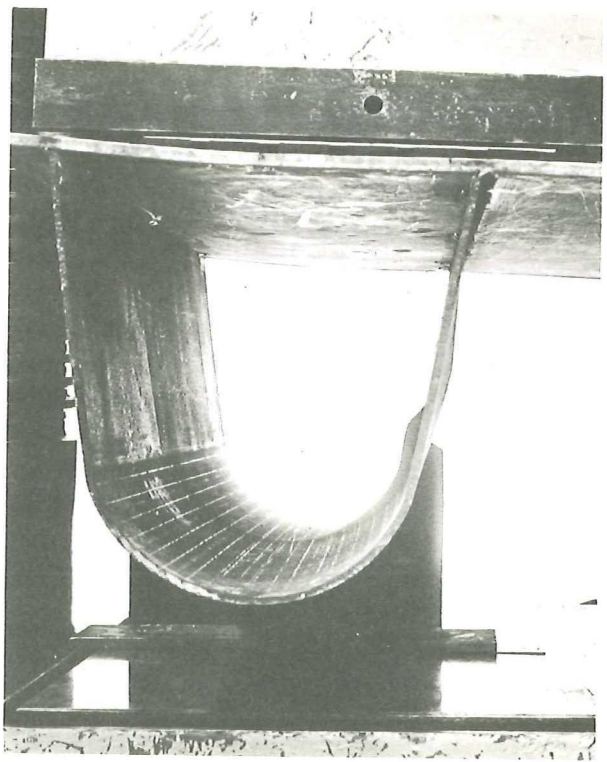


foto 2

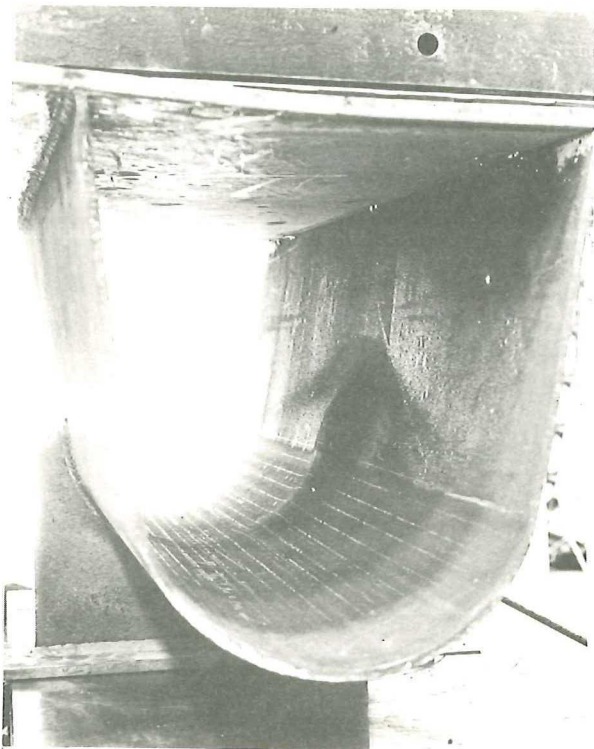


foto 3



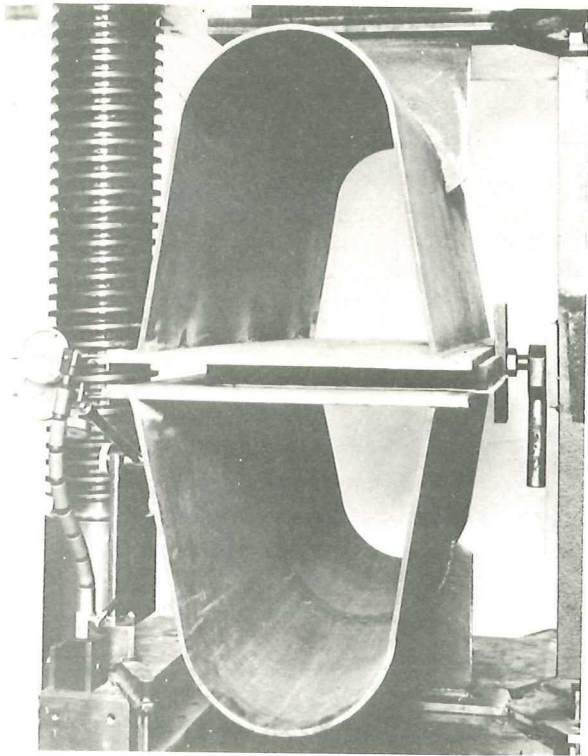


foto 4

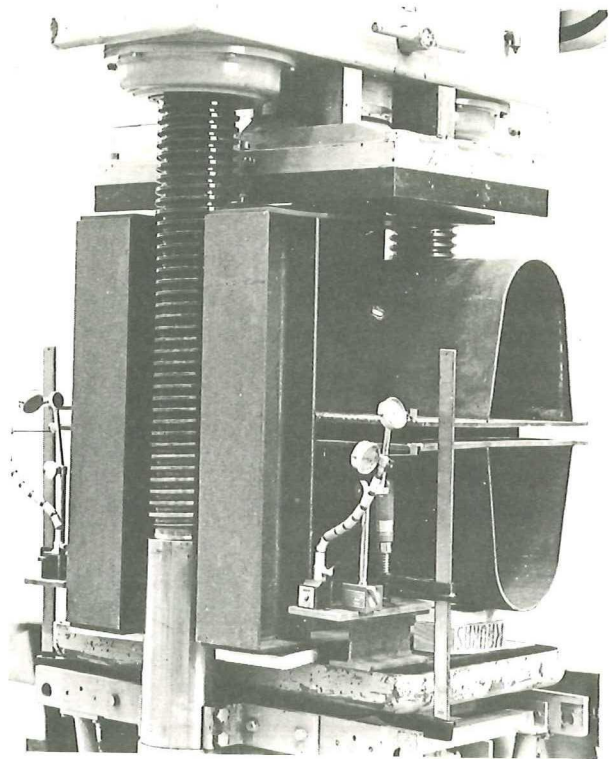


foto 5

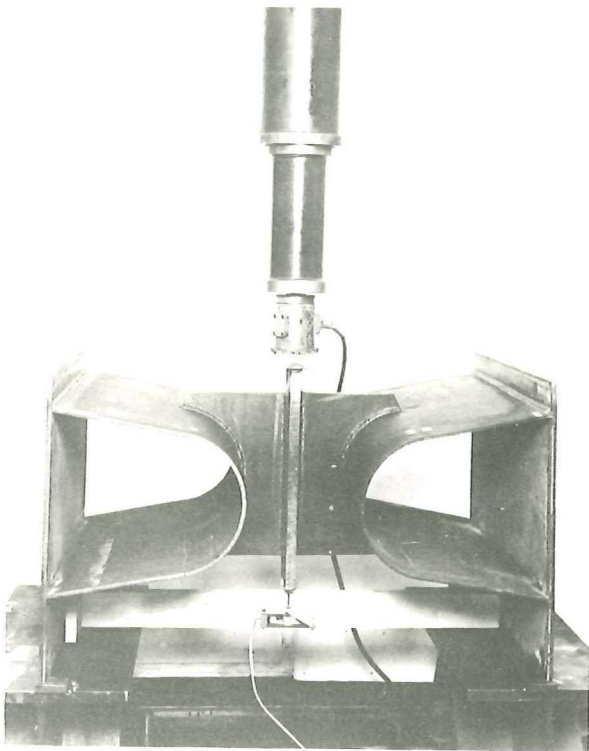


foto 6



foto 7

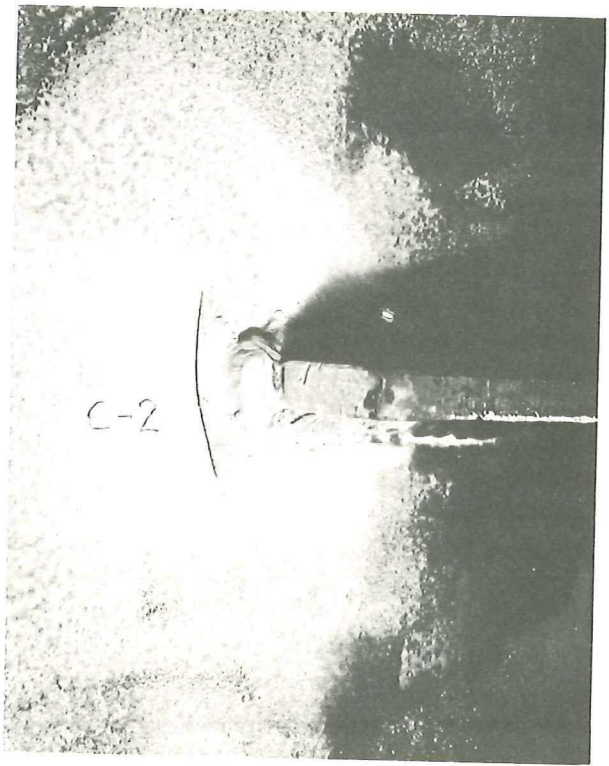


foto 8

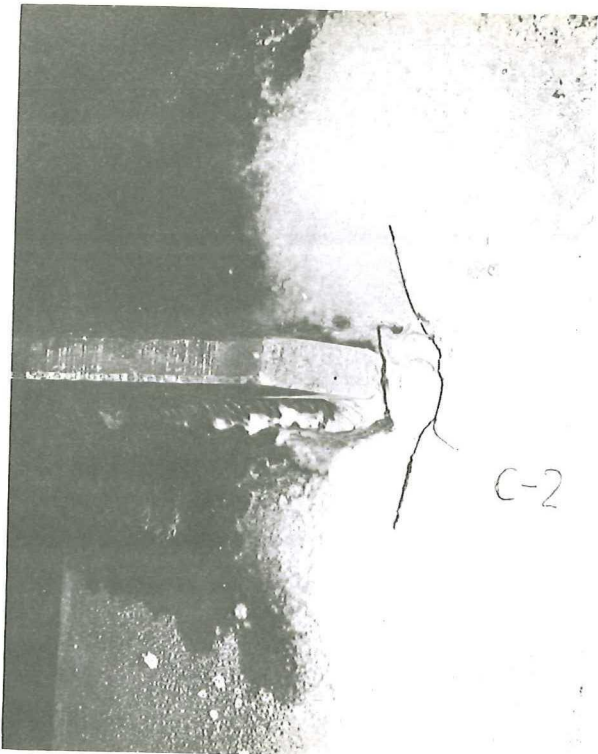


foto 9